

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерії машин, споруд та технологій

(назва факультету)

Автомобілів

(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

Бакалавр

(освітній рівень)

Обґрунтування використання електробусу у мережі міського

пасажирського транспорту

Виконав: студент (ка) 4 курсу, групи МНс-41

напряму підготовки (спеціальності) 275

**Транспортні технології (на автомобільному
транспорті)**

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Козевич В.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Цьонь О.П.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Плекан У.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Сташків М.Я.

(прізвище та ініціали)

Зав. кафедри

(підпис)

Цьонь О.П.

(прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2023

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

Кафедра автомобілів

Освітній рівень бакалавр

Напрямок підготовки 275 Транспортні технології (на автомобільному транспорті)

(шифр і назва)

Спеціальність

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

Цьонь О.П.

« ____ »

2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ

Козевичу Владиславу Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Обґрунтування використання електробусу у мережі міського пасажирського транспорту

Керівник проекту (роботи)

Цьонь О.П., к.т.н., доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від « 23 »січня 2023 року № 4/7-45

2. Термін подання студентом проекту (роботи) 14.06.2023р

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Загальна характеристика пасажирських маршрутів міста

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Сучасний громадський автомобільний транспорт.

2. Використання альтернативних видів палива для громадського транспорту.

3. Аналітичні дослідження енергоефективності електричного автобуса.

4. Встановлення транспортної роботи громадського транспорту.

5. Встановлення запасу ходу електричних транспортних засобів.

6. Техніко-експлуатаційна показники досліджуваного пасажирського маршруту.

7. Міжгалузеві і галузеві акти та інші нормативно-правові документи з питань техніки безпеки і охорони праці в міському електротранспорті.

8. Загальні вимоги охорони та безпеки праці під час ремонту рухомого складу на лінії.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Титульний лист. 2. Характеристика міського пасажирського транспорту. 3. Світова частка електричного транспорту. 4. Кількість електричних автобусів країн Європи. 4. Кількість електричних автобусів в містах України. 5. Цінова політика на електричні автобуси.

6. Громадський транспорт міста. 7. Дослідження запасу ходу транспортних засобів. 8. Прибуток на середньостатистичному маршруті за пасажирями. 9. Статті витрат на організацію пасажирських перевезень. 10. Економічна ефективність при переході на електричні автобуси.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці			

7. Дата видачі завдання	26.01.23
-------------------------	-----------------

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Розділ 1. Підвищення екологічної безпеки пасажирських перевезень	06.03.2023 р.	
2.	Розділ 2. Обґрунтування використання електричних автобусів у пасажирських транспортних системах	22.04.2023 р.	
3.	Розділ 3. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	21.05.2023 р.	
4.	Загальні висновки	05.06.2023 р.	
5.	Перелік посилань	08.06.2023 р.	

Студент _____
(підпис)

Козевич В.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____

Цьонь О.П.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ	
1.1. Сучасний громадський автомобільний транспорт	7
1.2. Використання альтернативних видів палива для громадського транспорту	16
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ АВТОБУСІВ У ПАСАЖИРСЬКИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ	
2.1. Аналітичні дослідження енергоефективності електричного автобуса	20
2.2. Встановлення транспортної роботи громадського транспорту	25
2.3. Встановлення запасу ходу електричних транспортних засобів	30
2.4. Техніко-експлуатаційна показники досліджуваного пасажирського маршруту	31
РОЗДІЛ 3. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	
3.1. Міжгалузеві і галузеві акти та інші нормативно-правові документи з питань техніки безпеки і охорони праці в міському електротранспорті	40
3.2. Загальні вимоги охорони та безпеки праці під час ремонту рухомого складу на лінії	41
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	46
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	48
ДОДАТКИ	50

РЕФЕРАТ

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є проведення оціночних досліджень на предмет впровадження електричних автобусів на маршрутній пасажирській мережі з урахуванням його унікальних характеристик по відношенню до інших типів пасажирського транспорту.

У бакалаврській роботі розглянуто зв'язок між впровадженням електричних автобусів та їх відповідністю світовим транспортним тенденціям з нульовим викидом, розглянуто актуальні проблеми та шляхи їх вирішення для громадського транспорту, надано основний огляд технологій електричних автобусів, досліджено їх застосування в якості громадського транспорту в міських умовах, проведено порівняльний техніко-економічний аналіз, та надано висновки і рекомендації для обґрунтування прийняття подальших рішень.

ВСТУП

Запровадження електричних автобусів для перевезення пасажирів на громадській пасажирській мережі не є простим придбанням транспортного засобу. Це складна система, що включає багато компонентів, таких як виробник, перевізник, пасажир, державні органи влади, і вимагає спільних зусиль для її успішного функціонування.

Зараз електричний транспорт стає все популярнішим у зв'язку зі зростанням екологічної свідомості та розвитком технологій. Він був започаткований ще в 1880-х роках і з того часу включає різні види транспорту, такі як трамваї, тролейбуси та метрополітени. Електричні системи транспорту продовжують залишатися важливою складовою багатьох міських транспортних систем в Україні, які доповнюють громадський транспорт, який використовує двигун внутрішнього згорання.

Досягнення глобального переходу до екологічної енергетики без викидів вуглецю до 2050 року є головною метою урядів всього світу. Це вимагає від кожної країни значно зміцнити свою енергетичну та кліматичну політику і масово впровадити електричний транспорт як одну з ключових складових цієї стратегії. Хоча електричні автобуси мають значні екологічні переваги, їх впровадження вимагає ретельного аналізу урахувавши місцеві умови, експлуатаційні та інфраструктурні характеристики. Розвиток електричних автобусів потребує вирішення низки технологічних проблем, таких як покращення накопичувачів енергії, розбудова зарядних станцій, розвиток інфраструктури та технічний сервіс.

РОЗДІЛ 1. ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

1.1. Сучасний громадський автомобільний транспорт

Транспорт є невід'ємною складовою будь-якого міста, оскільки він забезпечує зв'язок між міськими територіями, передмістями та здійснює соціальний взаємозв'язок. Раніше, щоб поліпшити пасажирські перевезення, акцент робився на збільшенні пропускної здатності вуличної мережі. Проте з розвитком міст, підвищенням безпеки дорожнього руху та розвитком транспортної інфраструктури, цей підхід був переосмислений на користь реорганізації існуючої системи громадського транспорту та використанні екологічно чистих видів транспорту.

Громадський транспорт є комплексом різноманітних транспортних послуг, що надають доступ користувачам до послуг масового перевезення пасажирів. Ці послуги можуть виконувати різні функції в транспортній системі та мати різні переваги, зокрема забезпечують доступність для пересувань, суспільно-економічні та екологічні переваги. Серед видів громадського транспорту можна виділити автобуси, потяги, пороми та їх різновиди.

У загальному розумінні, громадський пасажирський транспорт включає автобуси, тролейбуси, трамваї, залізничні потяги, монорельсовий транспорт та маршрутні таксі. Кожен з цих видів транспорту має свою власну місткість, яка може варіюватися від 5 до 150 пасажирів і навіть більше (рис. 1.1).

У роботі [1] відмічається чотири загальні категорії якості функціонування громадського транспорту: покращене обслуговування; покращений сервіс (більш комфортний, зручний, надійний тощо); стимулювання перевезень (низькі тарифи, фінансові стимули для громадського транспорту, маркетинг тощо); транзитно-орієнтований

розвиток інфраструктури (схеми землекористування, призначені для підтримки перевезень, в т.ч. більш компактна пішохідна, змішана забудова навколо станцій і транспортних коридорів).

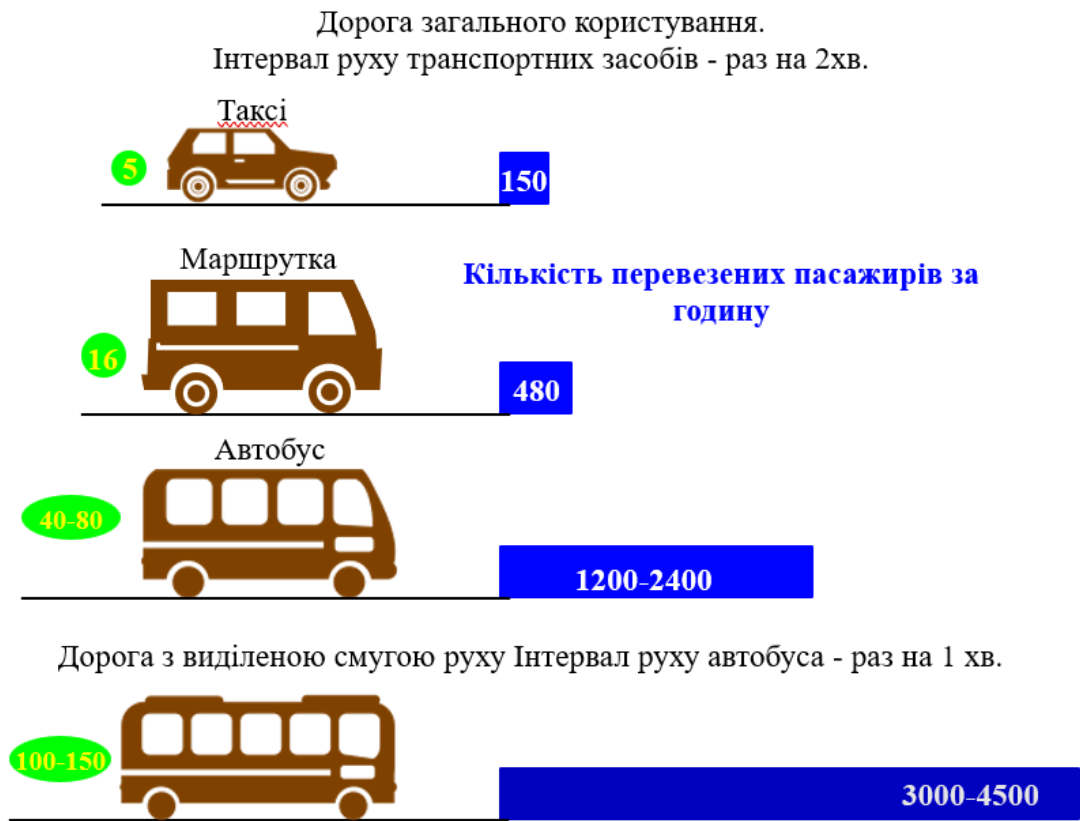


Рис. 1.1. Класифікація існуючих видів міського пасажирського транспорту

З огляду на характеристики різних видів транспорту, можна вважати громадський пасажирський транспорт з більшою пасажиромісткістю від 40 до 100 пасажирів перспективним для міських умов. Використання цього виду транспорту дозволяє перевозити значну кількість пасажирів за одну поїздку, менше шкодить довкіллю, знижує загальне шумове забруднення і забезпечує комфорт та безпеку для пасажирів. Такий транспорт є привабливою альтернативою для тих, хто хоче залишити свій власний транспорт вдома і насолодитися поїздкою у громадському транспорті.

Електричні автобуси мають багато переваг порівняно з автобусами, що обладані двигунами внутрішнього згорання. Вони мають привабливий зовнішній вигляд і комфортабельні умови для пасажирів, а найбільш значимою перевагою є використання місцевих, відновлюваних джерел енергії, що забезпечує енергетичний суверенітет та зменшує споживання природних ресурсів. Тому, чим швидше міста перейдуть на екологічний транспорт, тим краще буде для довкілля та громадського здоров'я.

У науковій праці [2] відзначається, що «для прискорення цього переходу містам, органам державного самоврядування, операторам громадського транспорту необхідно розпочати масову закупівлю електричних автобусів, щоб замінити їх застарілий парк, який забруднює довкілля, і відповідати деяким з найбільших проблем століття; сприяти виробникам електричного транспорту, закликаючи їх збільшити масштаби виробництва, що в свою чергу призведе до зниження цін; використовувати підхід, зосереджений на загальній вартості, переходячи від авансових платежів до платежів за оренду або позику відповідно до довговічності активу, щоб охопити повний термін служби протягом тривалого періоду часу; включити зовнішні витрати в тендерний процес, порівнюючи різні варіанти; здійснювати пошук та застосовувати заохочувальні нові механізми фінансування від традиційних фінансових установ».

Європейські міста мають чітке зобов'язання перейти на автобуси з нульовими викидами, і це зобов'язання буде ще більш посилене в майбутньому. Протягом останніх років більшість великих міст збільшують свій парк електричних автобусів, середні міста купують невелику кількість електробусів для демонстраційних або тестових цілей.

Європейською комісією розроблено довгострокову стратегію низьковуглецевої економіки до 2050 року (європейський зелений курс), в основу якої покладено стратегію декарбонізації (зневуглецювання), тобто переходу суспільства з нульовими викидами. Відповідно до цього кожен вид транспорту до 2050 року має бути повністю декарбонізований, включаючи

міські автобуси (наприклад, останній дизельний автобус буде проданий у 2030 році).

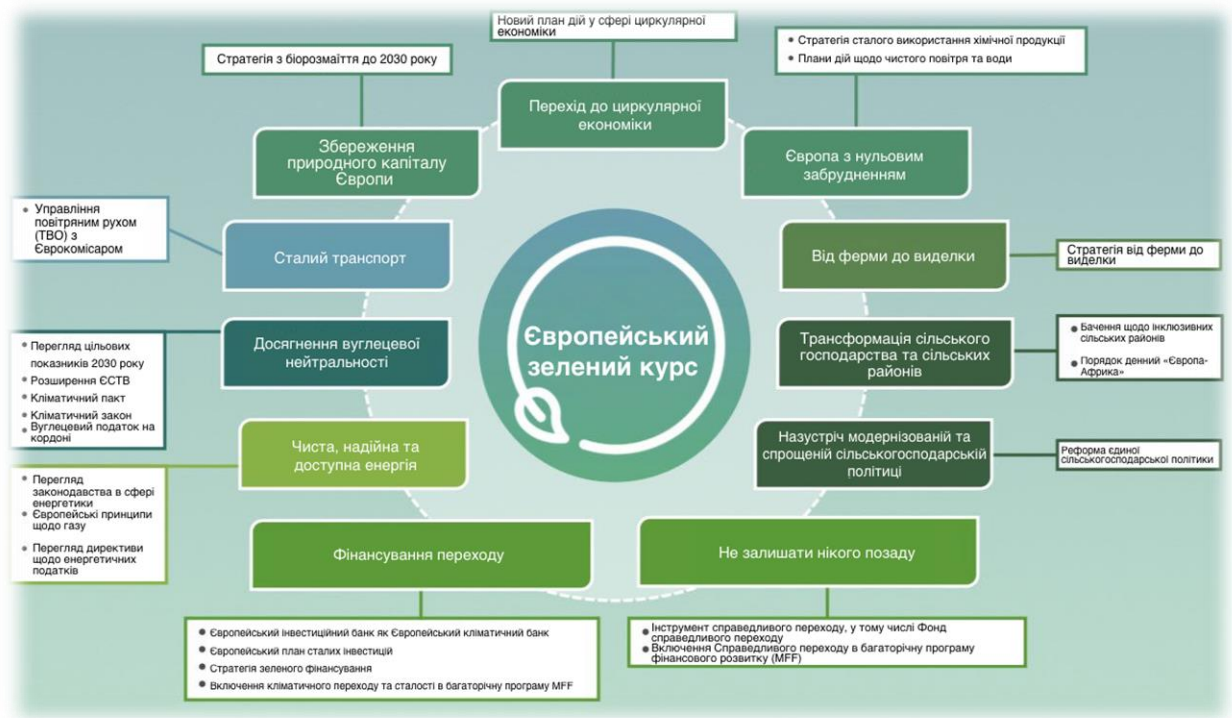


Рис. 1.2. Європейський зелений курс (The European Green Deal)

У всьому світі, зокрема в країнах Європи та Америки, міста впроваджують електричні автобуси на маршрутну мережу з метою покращення якості повітря, зменшення викидів вуглецю та шумового забруднення, збільшення експлуатаційних заощаджень на транспортну інфраструктуру, з особливим наголосом на розвиток екологічно чистого громадського транспорту.

Використання електричних автобусів на міських пасажирських мережах є перспективним завданням для органів місцевої влади. Ця тенденція пояснюється зростанням усвідомлення про токсичне забруднення повітря в містах від двигунів внутрішнього згоряння та заснована на переконливих перевагах електротранспорту у сферах економіки, комфорту та шуму. Очікується, що міські автобуси стануть першим видом транспорту, який досягне нульових викидів завдяки використанню силових електричних установок.

За даними із відкритих джерел (сайт BloombergNEF) продажі електричного транспорту постійно зростають завдяки поєднанню політичної підтримки, вдосконаленню технології та вартості акумуляторів, розбудові додаткової інфраструктури зарядних станцій та нових привабливих моделей від автовиробників. Електрифікація також поширюється на нові сегменти автомобільного транспорту, створюючи основу для великих змін (рис. 1.3, рис. 1.4).



Рис. 1.3. Сучасні зарядні станції

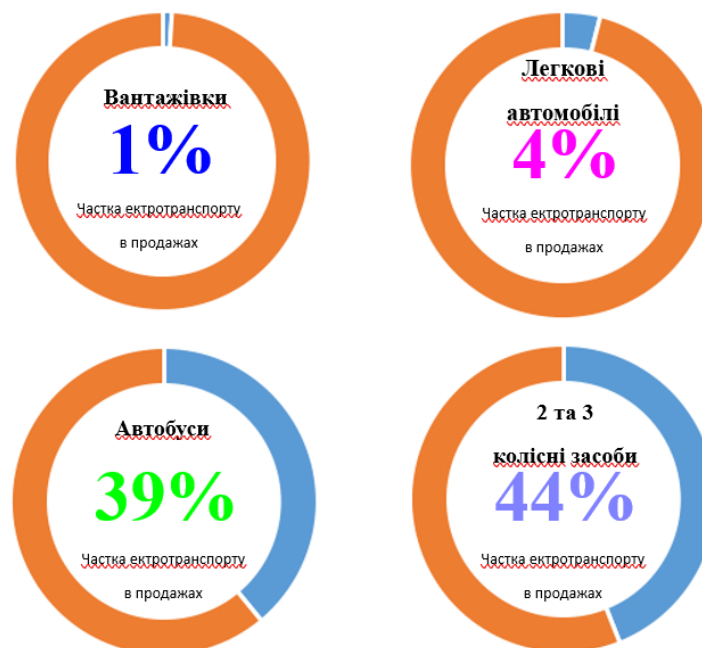


Рис. 1.4. Світова частка електричного транспорту в загальній сукупності від продажів нових засобів у 2022 році

Розвиток електротранспорту у Китаї та інших країнах став об'єктом великої світової уваги, програми сталого розвитку транспорту запроваджуються у Європі та частково в Україні.

Міністерство інфраструктури України запровадило в дію два проекти під назвою «Міський громадський транспорт України», який направлений на оновлення парку громадського транспорту в українських містах, до складу яких входить 18 міст (рис. 1.5). Як зауважив очільник Міністерства інфраструктури Владислав Криклій «проекти розвитку екологічного громадського транспорту (закупівлі трамваїв, тролейбусів, рухомого складу метрополітену та електробусів) виконується в рамках Національної транспортної стратегії України до 2030 року і стратегій розвитку автомобільної промисловості, і використання саме електричного громадського транспорту не лише дозволить суттєво знизити рівень викидів у містах, а і максимально наблизить нас до європейських стандартів».



Рис. 1.5. Кількість електричних автобусів в обласних центрах

На даний момент, кількість електричних автобусів є досить невеликою, але очікується, що їх чисельність поступово буде збільшуватися щороку. Проте, перевізники не поспішають із застосуванням такого транспорту через високу вартість автобусів та обслуговування. У 2022 році загальна кількість електричних автобусів у Європі становила трохи більше 2845 одиниць, що складало 2,9 % від усіх муніципальних автобусів, які є на дорогах у Європі. Найбільшу кількість таких автобусів має Великобританія (рис. 1.6).

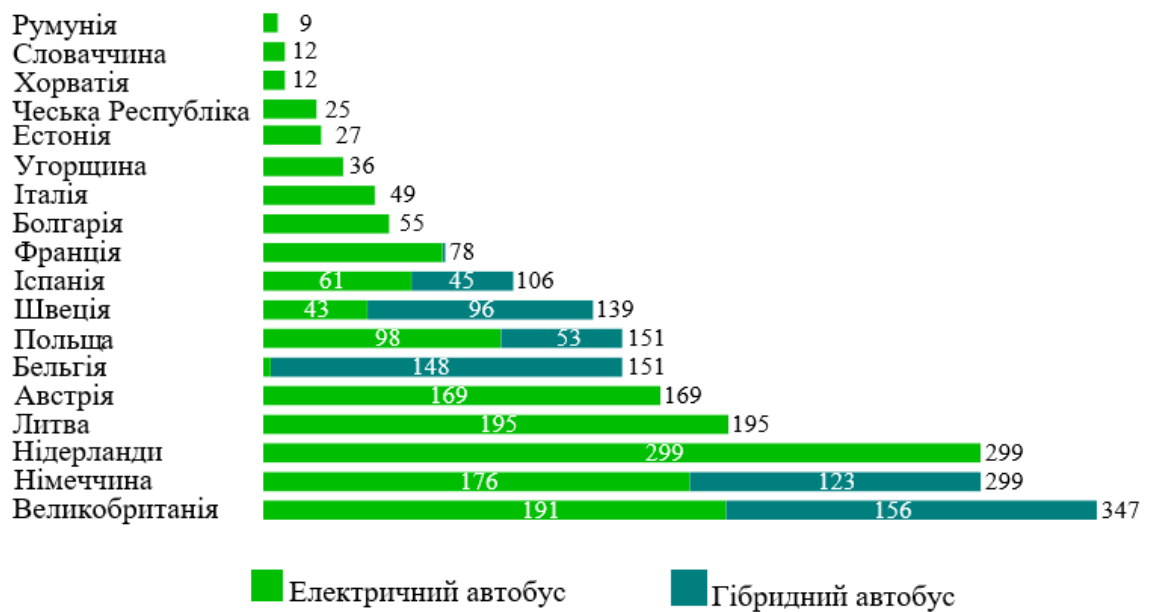


Рис. 1.6. Кількість електричних автобусів у Європі

Міста починають поступово переходити на електричний транспорт, оскільки це дозволяє вирішувати багато важливих проблем. Однак, цей перехід також породжує нові завдання, які потребують невідкладного вирішення. Серед цих завдань є покращення якості довкілля. Викиди відпрацьованих газів від дизельних двигунів, зокрема оксидів азоту та твердих частинок, є одними з основних джерел забруднення. На сьогоднішній день, дизельні двигуни внутрішнього згорання становлять більшість світового автобусного парку. Оскільки кількість міських жителів

продовжує зростати, стає все важливішим визначати стійкі та економічні варіанти для розвитку міського транспорту. Використання електричних автобусів є одним з найбільш перспективних шляхів скорочення шкідливих викидів та покращення загальної якості повітря у містах.

Найбільшою проблемою для електробусів залишається їх висока початкова вартість порівняно з еквівалентом дизельних автобусів (рис. 1.7). Для розв'язання проблеми і стимулювати перевізників до їх придбання, необхідні нові бізнес-моделі, запровадження лізингу (наприклад, накопичувачів енергії), спільні закупівлі, або ж спільне їх використання автобусів.

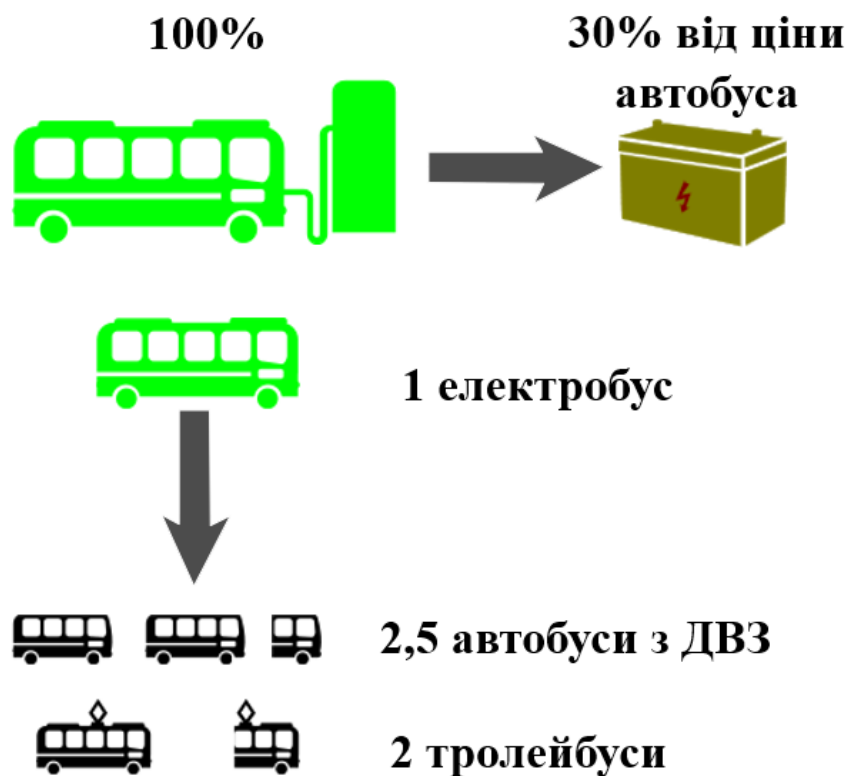


Рис. 1.7. Вартість електробуса виражена як вартість його тягової батареї (а) або вартість типового громадського транспорту (б)

Зараз тягові акумуляторні батареї (як джерело енергії) складають близько 30% загальної вартості електроавтобусів, тому є найбільш вартісною

складовою. Більшість дослідників прогнозують, що вартість таких батарей зменшиться до 8-10% до 2030 року, завдяки значному зростанню їх попиту та розвитку технологій виготовлення.

Якщо порівняти ціни на громадський транспорт, то можна стверджувати, що за ціну одного електроавтобуса можна купити півтора тролейбуса або два звичайних автобуса.

У розвитку електричного автомобільного транспорту на європейському рівні популярним методом фінансування є поєднання самофінансування з грантовою роботою, де гранти, включаючи ті, що надаються ЄС, національні, регіональні або муніципальні, допомагають покрити більшу частину витрат.

Різні міста, які розглядають електричні автобуси як головний транспорт, також стикаються з проблемою невизначеності залишкової вартості. Це стосується перш за все тягової акумуляторної батареї, адже тривалість її роботи та термін служби є неоднозначними. Більшість виробників гарантують термін експлуатації автобусів на 10-15 років, але досвід роботи в мегаполісах ще не дозволяє визначити точніше цей термін.

Для вирішення цієї проблеми можна запровадити регуляторну політику, яка включатиме гарантійні та соціально-економічні вимоги до транспорту на загальнодержавному рівні, а також передбачатиме відповідальність виробників за якість своєї продукції.

За даними Bloomberg New Energy Finance (Electric Buses in Cities, 2018), експлуатаційні витрати для електричних автобусів є значно меншими, ніж у звичайних автобусів на сьогоднішній день. Наприклад, типовий електричний автобус з акумулятором на 250 кВт·год., що заряджається один раз на день та працює на маршруті з денним пробігом в 166 км, має витратну частину у розмірі 0,99 \$USA/км, що є меншим, ніж витрати на дизельні (1,05 \$USA/км) або газові (1,19 \$USA/км) автобуси. У великих містах, де денний пробіг перевищує 220 км, конкурентоспроможність електричних автобусів ще більш зростає. Витрати на звичайну зарядку електричного автобуса потужністю 350

кВт/год становлять 0,10 \$USA/кВт·год, що є значно меншим, ніж витрати на дизельні автобуси в розмірі 0,66 \$USA/кВт·год.

Незважаючи на зростання популярності електричних автобусів, на ринку все ще недостатньо моделей, що відповідають потребам міст. Щоб забезпечити ефективну логістичну та сервісну мережу, міста повинні активно співпрацювати з виробниками, проявляти інтерес до конкретних моделей та приймати стратегічні рішення щодо електрифікації автобусних парків.

Створення ефективної мережі зарядних станцій є одним із ключових етапів електрифікації автобусних парків. Для цього міста повинні ретельно планувати розташування зарядних станцій, враховуючи рухові потоки та розклади руху автобусів. Також важливо забезпечити високу швидкість зарядки та відповідну потужність станцій, що дозволить забезпечити безперебійну роботу електричних автобусів у місті.

1.2. Використання альтернативних видів палива для громадського транспорту

Світова енергетична система стоїть на роздоріжжі, оскільки більшість європейських та світових країн надалі використовують викопні види палива, але майбутнє полягає у застосуванні альтернативних видів палива та транспортних засобів, які будуть його використовувати. Кліматичні вимоги та економічні інтереси, які ставить перед суспільством, вже знайшли своє місце у політиці більшості європейських та світових країн. Сьогодні намагаються змінити теперішній підхід до мобільності, тобто транспорту, на користь сучасних та необхідних стратегій стійкості. Оскільки існує ряд альтернативних видів палива, потрібно провести детальний аналіз перед введенням транспортних засобів з цими видами палива в транспортну систему. Країни, які ще не почали використовувати транспортні засоби на альтернативному паливі, можуть скористатися досвідом країн, які вже успішно його використовують.

У останні роки було прийнято різні стратегії та внесені законодавчі та політичні корективи, які спрямовані на виявлення та зменшення шкідливих викидів у повітря, земельні ресурси і водне середовище на національному та міжнародному рівнях. Особливу увагу приділяють скороченню використання звичайних видів палива, заміні їх альтернативними видами та заохоченню використання відновлюваних джерел енергії.

Технології, які розвиваються, розширюють межі того, що ми знаємо сьогодні, і майбутнє належить чистим технологіям або технологіям, які є екологічно чистими.

Незважаючи на те, що якість двигунів внутрішнього згорання для транспорту зростає, їхнє використання все ще призводить до зростання приватного легкового транспорту, що ускладнює зусилля з покращення соціально-екологічного та економічного розвитку міст. Тому, щоб досягти мобільності з низьким рівнем викидів, необхідно заохочувати виробництво нових транспортних засобів, які використовуватимуть альтернативні види палива. Україна має загальну невизначеність щодо альтернативних видів палива, що призводить до фрагментованого ринку з нестабільними умовами. Однак, розробляються стратегічні плани на рівнях національного, регіонального та міського розвитку для впровадження екологічно чистих транспортних засобів та альтернативних видів палива, зокрема з використанням відновлюваних джерел.

Альтернативними видами палива, які придатні для використання у транспортних засобах є:

- ✓ Електрична енергія (країни з великим обсягом виробництва електричної енергії з відновлюваних джерел енергії мають достатній потенціал для її широкого застосування в електромобілях);

- ✓ Водень (його можна використовувати в переобладнаному бензиновому двигуні або у вигляді паливних елементів для живлення електричних. Водень отримують шляхом риформінгу пари з природного газу або електролізом води).

✓ Біопаливо (виготовляють з сировини біомаси різних галузей народного господарства і застосовують як паливо (біометан, біодизель, біоетанол) для модифікованих силових двигунів. Однак його виробництво пов'язане із значними економічними витратами);

✓ Природний газ, стиснутий або скраплений (стиснутий газ виробляють шляхом стиснення природного газу до рівня менше 1% його об'єму при стандартному атмосферному тиску. Використання такого палива зменшує викиди чадного газу та оксиду азоту до 80%, викиди CO₂ до 25%, а частка метану вуглеводнів до 73%. Скраплений природний газ - це газ у рідкому вигляді, який виробляється);

✓ Зріджений нафтовий газ (очищений і підготовлений нафтовий газ, який стискають для його переходу в рідкий стан).

Альтернативні види палива - це види палива, які мають на меті замінити традиційні нафту та вугілля. З екологічної точки зору, такі види палива є перехідним рішенням у пошуку більш ефективних та відновлюваних джерел енергії. Оскільки світові запаси та виробництво звичайного палива зменшуються, альтернативне паливо стає все більш важливим рішенням. Коли мова йде про альтернативні види палива, ми переважно маємо на увазі моторне паливо для транспортних засобів, яке виділяє менше забруднюючих речовин, ніж традиційне паливо. Однак, вибір конкретної технології визначається багатьма факторами, такими як місцева ситуація, політичні мотиви, а також конкретні експлуатаційні та екологічні вимоги, які необхідно виконати.

Наведемо деякі основні критерії оцінки альтернативного палива [3]:

➤ Можливість масового виробництва, а також виробництва з відновлюваних джерел;

➤ Загальноекономічна ефективність від застосування потенціалу палива, як суспільно необхідного;

➤ Вплив на навколишнє середовище стає все більш важливим, тому, що впровадження нових видів палива встановлює жорсткі нормативно-правові вимоги з охорони навколишнього середовища;

➤ Повинен бути безпечним для довкілля і оточуючих, при цьому необхідно враховувати технологічний процес виробництва палива та експлуатації транспорту;

У виборі та розвитку альтернативного палива важливість мають усі наведені вище критерії, однак у сфері автомобільного транспорту переважає економічний аспект, оскільки ціна палива визначає вартість транспорту. Слід зазначити, що ціни на транспортні засоби, які використовують альтернативне паливо, значно вищі, ніж на ті, які працюють на звичайному паливі. Наявність заправних станцій з альтернативними видами палива також є фактором, який обмежує їх використання, оскільки заправки для звичайного палива наразі значно більш поширені. Очікується, що значний розвиток альтернативного палива наступить в найближчі роки, оскільки у багатьох країнах почали виробляти транспортні засоби на такому паливі.

У сталому розвитку транспорту, особливо в сталій мобільності, громадський транспорт грає важливу роль. Тому необхідно забезпечити перевезення пасажирів громадським транспортом, який використовує альтернативні види палива. Більшість розвинених країн та міст, що дотримуються екологічних стратегій, поступово замінюють автобуси звичайним паливом на транспортні засоби, що використовують альтернативне паливо.

Хоча вартість нових автобусів значно вища за вартість звичайних транспортних засобів, їх переваги очевидні. Крім зниження рівня шуму в місті, зокрема у центральній частині, найбільш очевидним результатом є суттєве зниження витрат на паливо та відсутність викидів шкідливих газів.

РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ АВТОБУСІВ У ПАСАЖИРСЬКИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ

2.1. Аналітичні дослідження енергоефективності електричного автобуса

Під час руху маршрутного автобуса можна виділити окремі його робочі цикли, які полягають у його розгоні, рівномірному русі, плавного гальмування і зупинки. Для розгону автобуса необхідна кінетична енергія E_1 , яка розраховується за формулою [4, 5]

$$E_1 = \frac{m \cdot V_1^2}{2 \cdot K_u} \text{ Дж} \quad (2.1)$$

Енергія рекуперації E_2 розраховується за формулою [4]

$$E_2 = \frac{K_u \cdot m \cdot V_1^2}{2}, \text{ Дж} \quad (2.2)$$

де m – маса транспортного засобу, кг;

K_u – коефіцієнт енергетичних втрат під час руху автобуса

V_1 – швидкість автобуса після розгону.

Відношення енергії рекуперації E_2 до кінетичної енергії E_1 характеризується ефективністю рекуперації EF [5]

$$EF = \frac{E_2}{E_1}, \quad (2.3)$$

Також, ефективність рекуперації EF для робочого циклу руху автобуса можна представити виразом EF [5]

$$EF = \frac{\varphi \cdot \eta \cdot K_u^2 \cdot V_2^2}{V_1^2}, \quad (2.4)$$

де η – коефіцієнт корисної дії накопичувача енергії;

φ – коефіцієнт корисної дії перетворювача;

V_2 – швидкість автобуса після вибігу.

Для розглянутого циклу руху автобуса під час розгону рівень енергоспоживання $E_{пт}$ запишеться виразом [2-5]

$$E_{пт} \cdot S = \frac{m \cdot V_1^2}{2 \cdot K_u}, \text{ Вт} \cdot \text{год} / (\text{т} \cdot \text{км}) \quad (2.5)$$

або

$$K_u = \frac{V_1^2}{2 \cdot E_{пт} \cdot S}. \quad (2.6)$$

де S – довжина маршруту, км.

Для порівняння електричного автобуса приймемо тролейбус, який має близькі умови експлуатації, для якого приймаються наступні параметри:

- маса автобуса $m = 6400$ кг;
- довжина маршруту $S = 0,3$ км ;
- швидкість автобуса після розгону $V_1 = 35$ км/год;
- рівень енергоспоживання $E_{пт} = 100$ Вт·год/(т·км);
- коефіцієнт корисної дії перетворювача $\varphi = 0,94$
- коефіцієнт корисної дії накопичувача енергії $\eta = 0,85$.
- ефективність рекуперації

Розрахунковий коефіцієнт енергетичних втрат під час руху автобуса

K_u

$$K_u = \frac{35^2}{2 \cdot 100 \cdot 0,3} = 0,61.$$

Розрахункова кінетична енергія E_1

$$E_1 = \frac{6400 \cdot 35^2}{2 \cdot 20,41} = 1,92 \text{ МДж.}$$

Розрахункова енергія рекуперації E_2

$$E_2 = \frac{0,61 \cdot 6400 \cdot 20^2}{2} = 0,84 \text{ МДж.}$$

Розрахункова ефективність рекуперації EF

$$EF = \frac{E_2}{E_1} = \frac{0,84}{1,92} = 0,44.$$

При розрахунковій ефективності рекуперації $EF = 0,44$ економія енергії складе (енергія рекуперації $E_{\text{рек}}$)

$$E_{\text{рек}} = 1,92 \cdot 0,44 = 0,84 \text{ МДж.}$$

Потреба в енергії для здійснення транспортного циклу $E_{\text{цик}}$, з урахуванням енергії рекуперації, становить

$$E_{\text{цик}} = 1,92 - 0,84 = 1,08 \text{ МДж}$$

Потужність N електричного двигуна, яка необхідна для розгону автобуса тривалістю 20 с становить

$$N = \frac{1,92}{0,02} = 96 \text{ кВт.}$$

Розрахунки, що були проведені, дозволили встановити критерії енергоефективності для електричних автобусів.

Таблиця 2.1

Опис енергетичних характеристик електричного автобуса

Назва показника	Розмірність показника	Значення показника
Потужність електричного двигуна:		
- номінальна	кВт	100
- максимальна	кВт	120
Потужність накопичувача енергії	кВт-год	150
Енергія накопичувача	МДж	<1,92
Термін служби накопичувача	роки	<10
Пробіг автобуса	км	<200

Основним елементом електропривода є електродвигун, який може здійснювати зворотне перетворення енергії, працюючи як електричний генератор в деяких режимах. Електродвигуни можуть бути різних видів залежно від механічного руху, включаючи обертові, лінійні, крокові та інші. Вони також діляться на дві групи в залежності від використовуваного електричного струму: постійного струму і змінного струму. На сьогоднішній день, електродвигуни постійного струму менш масово використовуються, ніж двигуни змінного струму, які практично їх витіснили. Головний недолік електродвигунів постійного струму полягає в тому, що вони можуть

експлуатуватися лише за наявності джерела постійного струму або перетворювача змінної напруги в постійний струм, що вимагає додаткових фінансових витрат. Однак, електродвигуни постійного струму мають високий пусковий момент і стабільну роботу в умовах великих перевантажень, і тому їх найчастіше застосовують в металургії, верстатобудуванні та на першому етапі електромобілебудування, включаючи електротранспорт.

Електричні двигуни змінного струму поділяються на дві підгрупи - синхронні та асинхронні - кожна з яких має свої особливості у конструкції та експлуатації. Синхронні двигуни, які мають постійну швидкість роботи, є ідеальним вибором для генераторів постійного струму, компресорів, насосів та іншого обладнання. Різноманітні технічні характеристики різних моделей синхронних двигунів включають швидкість обертання в діапазоні від 125 до 1000 обертів на хвилину та потужність, що може досягати кількох мегават. Конструкція приводів синхронних двигунів містить короткозамкнену обмотку на роторі, яка дозволяє здійснювати асинхронний пуск. Високий ККД та компактні габарити є перевагами використання синхронних двигунів, а експлуатація таких двигунів дозволяє зменшити втрати потужності в мережі до мінімуму. Крім того, крокові двигуни можуть бути віднесені до синхронних двигунів, які мають постійні магніти або синхронний реактивний двигун, або гібридний синхронний реактивний двигун з постійними магнітами.

Асинхронні електродвигуни змінного струму є найбільш поширеними в промисловому виробництві. Вони відрізняються від інших приводів більш високою частотою обертання магнітного поля в порівнянні зі швидкістю обертання ротора. У сучасних АД використовується алюміній для виготовлення обмоток ротора, що дозволяє зменшити масу двигуна і скоротити собівартість виробництва.

Переваги асинхронних двигунів включають масо-габаритні показники, низьку вартість виробництва, надійну і практичну конструкцію, просту схему управління, високий коефіцієнт корисної дії та потужність. Однак, вони

мають недоліки, такі як неможливість регулювання швидкості без втрат потужності, зменшення швидкості обертання при збільшенні навантаження, відносно невеликий пусковий момент та великий пусковий струм. Для зменшення пускового струму можна використовувати частотні перетворювачі або пристрої плавного пуску.

Електродвигун постійного струму з вентильним комутуючим пристроєм інвертором є вентильним електродвигуном постійного струму, який може бути керований за допомогою положення ротора, фази напруги на обмотці якоря або положення магнітного поля. Цей тип електродвигуна має декілька переваг, включаючи високий експлуатаційний ресурс, простоту обслуговування завдяки безконтактному управлінню, високу перевантажувальну здатність (до п'яти разів пусковий момент), широкий діапазон регулювання частоти обертання, що майже вдвічі вищий за діапазон АД, високий ККД при будь-якому навантаженні (більше 90%), і малі габаритні розміри.

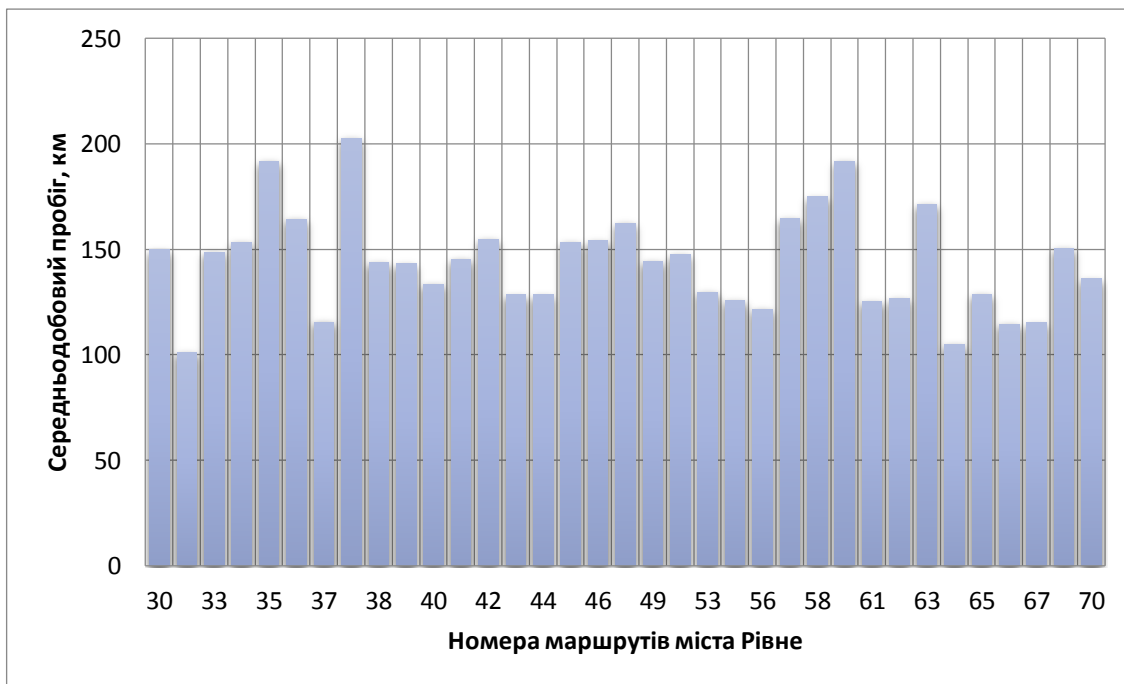
2.2. Встановлення транспортної роботи громадського транспорту

Для оцінки підходу до вибору електричного автобуса, як відносно його пасажиромісткості, так і відносно дальності подорожей, ми проведемо аналіз транспортної роботи, яка відноситься до кілометрів, які пройде транспортний засіб. Згідно з даними на сайті Wiki Routes, ми надаємо загальну коротку характеристику маршрутів міста Рівне (табл. 2.2).

Коротка характеристика маршрутів

Номер маршруту	Назва маршруту	Довжина маршруту, км	Кількість рейсів, шт.
Автобусні маршрути			
30	вулиця Енергетиків → вул. Волинських Дивізій	9,34/9,39	16
32	Залізничний вокзал → Обласна лікарня	4,19/4,24	24
33	Залізничний вокзал → вулиця Енергетиків	7,44/7,43	20
34	Мікрорайон Ювілейний → Басівщина	11,7/10,22	14
35	вулиця Будівельників → Луцьке кільце	13,81/13,61	14
36	3-я поліклініка → вулиця Струтинської	11,72/11,78	14
37	вул. Андрія Мельника → Студентська	8,88/5,58	16
38а	вулиця Коновальця → Агроресурс	8,45/8,43	16
38	вулиця Коновальця → Агроресурс	9,52/11,04	14
39	вулиця Волинських Дивізій → Луцьке кільце	10,54/11,50	13
40	Мототрек → вул. Андрія Мельника	7,96/6,89	18
41	вулиця Мельника → вулиця Київська (Зоопарк)	8,08/8,07	18
42	вулиця Соборна → вулиця Відінська	13,04/12,78	12
43	вулиця Олексинська → вулиця Залізнична	9,45/8,92	14
44	вулиця Олексинська → Гашека	9,82/8,55	14
45	Луцьке кільце → ТЦ Чайка	11,97/9,95	14
46	Мототрек → Золотіївська вулиця	8,75/8,38	18
47	Льонокомбінат → Аеропорт	13,19/13,91	12
49	вулиця Люблінська → Луцьке кільце	13,12/13,13	11
51	Льонокомбінат → Луцьке кільце	10,03/11,10	14
53	Басівщина → Велмарт	10,51/11,13	12

Згідно табл. 2.2. відобразимо сумарний добовий пробіг за всіма маршрутами руху громадського транспорту (рис. 2.1)



а)



б)

Рис. 2.1. Загальний денний пробіг на всіх маршрутах громадського транспорту у місті Рівне

За середнім добовим пробігом автобусних маршрутів міста Рівне в 144 км та тролейбусів у 82 км можна стверджувати, що впровадження електричних автобусів з малими накопичувачами енергії, розрахованими на пробіг у 200-250 км, є доцільним. Рівень середнього щорічного пробігу громадського транспорту у місті Рівне становить 52 тисячі км, що відповідає середньому пробігу у 144 км, тому для потреб міста достатньо електричних автобусів з ємністю батареї у 200-250 кВт·год, як показано на рисунку 2.2.

В місті Рівне для перевезення пасажирів за всіма маршрутами громадського транспорту використовуються однотипні транспортні засоби з середньою пасажиромісткістю салону від 29 до 40 чоловік. Це включає автобуси різних марок, таких як "Mercedes-Benz", "Богдан", "Баз" і "I-Van", а також тролейбуси Skoda 14Tr, Дніпро Т-203, і гібридний тролейбус-автобус Дуобус VITOVТ MAX DUO. Таблиця 2.2 містить коротку технічну характеристику цих транспортних засобів.

За даними журналу "АвтоЦентр", міська влада Рівного закупила два дуобуси моделі 43303A VITOVТ MAX DUO за 7,5 млн грн. Ці автобуси є поєднанням тролейбуса та дизельного автобуса, який здатний рухатися як на електротязі, від контактної мережі, так і автономно, на дизельному двигуні. Потужність електричного двигуна змінного струму складає 210 кВт, а дизельного двигуна внутрішнього згоряння (дизель-генератора) - 100 кВт. Рисунок 2.2 ілюструє використання електричних автобусів з ємністю батареї у 200-250 кВт·год для задоволення потреб міста Рівне з середнім річним пробігом громадського транспорту у 52 тисячі км.

Коротка характеристика громадського транспорту міста Рівне

Марка транспортного засобу	Загальна пасажиромісткість салону, чол.	Кількість місць для сидіння, шт.	Витрата енергії, палива в л/100 км пробігу, або кВт/100км
Маршрутні транспортні засоби			
Автобус БАЗ-А079 «Еталон»	40	20	17
Автобус <i>Isuzu</i> -Богдан А092	43	21	18
«I-VAN» А07А	41	23	18
Автобус <i>Mercedes-Benz Vario</i> 512D	29	19	14
Автобус <i>Mercedes-Benz</i> 508D	29	19	14
Автобус <i>Mercedes-Benz Sprinter</i> 312D	27	18	13
MAN А21 CNG	80	31	50 м ³ газу
Електричні транспортні засоби (тролейбус)			
Тролейбус <i>Skoda</i> 14Tr	80	29	300
Тролейбус Дніпро Т-203	100	31	250 (+)
Гібридні транспортні засоби (дуобус)			
Дуобус 43303А VITOVТ MAX DUO	120	38	280 (+ 200км на дизелі)



Рис. 3.2. Дуобус моделі 43303А VITOVТ MAX DUO

2.3. Встановлення запасу ходу електричних транспортних засобів

Таблиця 2.3

Характеристика електричних автобусів

Марка електричного автобуса	Пасажиromісткість, з них для сидіння	Ємність батареї, кВт-год	Запас ходу	Витрата енергії, кВт/100 км
MAN Lion's City E	120/45	350	200	1,75
Електрон Е191 (Україна)	100/36	225	200	1,125
Skywell NJL6129BEV (Китай)	81/33	276	300	0,92
Електробус на базі Богдан А091 модель ЗЕТ 8-120 (дослідний зразок, Україна)	40/21	120	160	0,75
BYD K9 (Китай)	80/28	324	250	1,296

Переведемо витрати на пробіг дизельного та електричного автобусів на один кілометр. Для прикладу, дизельний автобус марки Isuzu-Богдан А092 витрачає 18 літрів палива на 100 кілометрів (по ціні 40 грн за літр), що складає витрату 7,32 грн на кожен кілометр. Аналогічний електричний автобус витрачає 1,95 грн на кожен кілометр (по ціні електроенергії в 2,6 грн за 1 кВт).

У разі збільшення ціни на електроенергію при фіксованій ціні на дизельне паливо, електричний автобус стане конкурентним при ціні електроенергії в 0,65-1,25 грн за 1 кВт·год. Ці нижчі значення відповідають автобусам з пасажиромісткістю 40 пасажирів і батареєю на 120 кВт. Електричні автобуси з більшою пасажиромісткістю 80-100 пасажирів стануть конкурентними при цінній межі в 1,25 грн за 1 кВт·год.

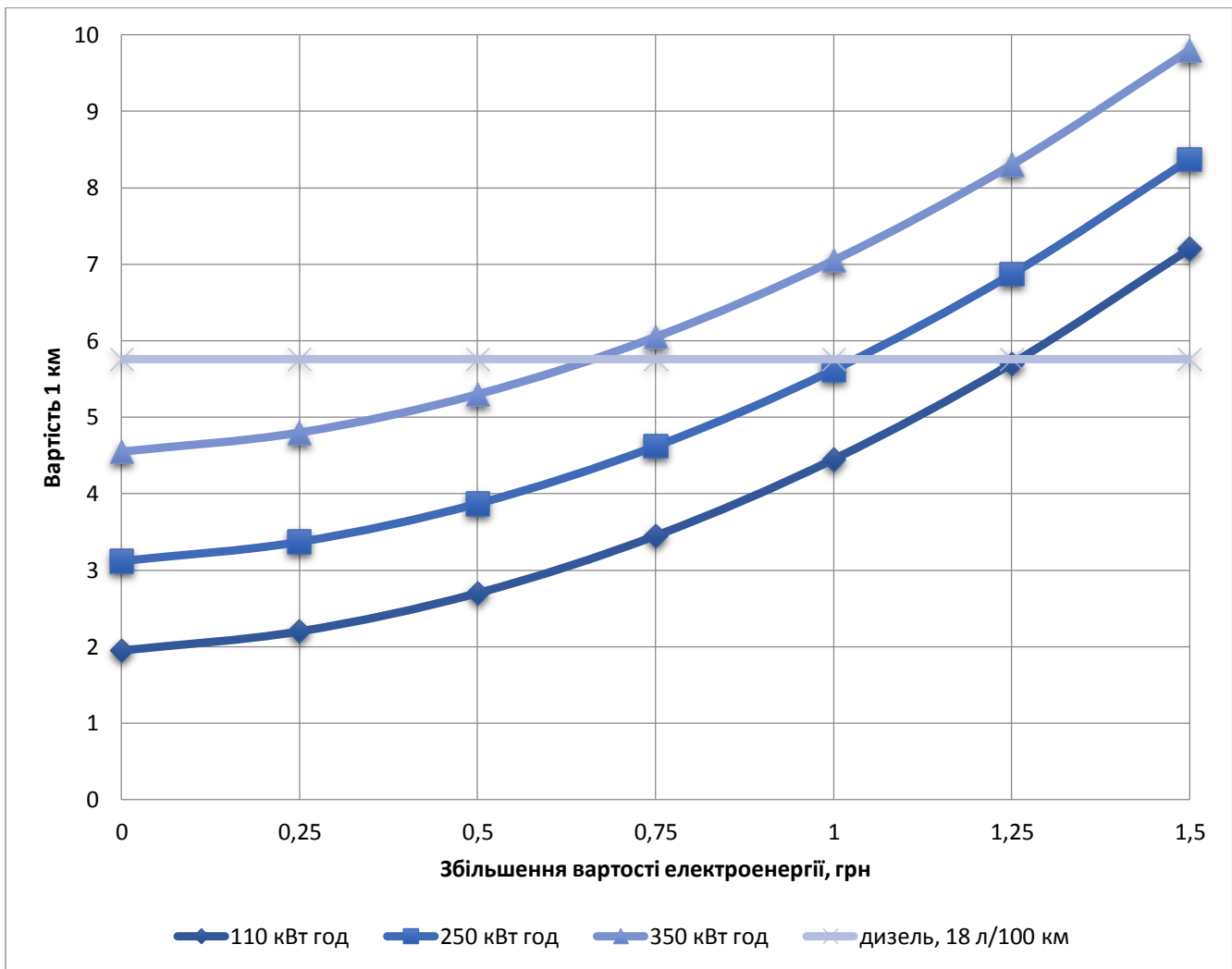


Рис. 2.2. Оцінка вартості пробігу для діючого автобусного транспорту порівнюється з вартістю пробігу електричних автобусів різної пасажиромісткості та ємності батареї. Враховуючи, що вартість дизельного пального становить 40 грн за 1 літр, а ціна на електроенергію змінюється, починаючи з 2,6 грн за 1 кВт·год.

2.4. Техніко-експлуатаційна показники досліджуваного пасажирського маршруту

Для проведення розрахунків економічної ефективності впровадження електричного автобуса для перевезення пасажирів міським громадським транспортом ми використовуємо середньостатистичний тролейбусний маршрут міста Рівне №11, який пролягає від «Вулиці Енергетиків» до «Вулиці Вербова» (див. рис. 2.3).

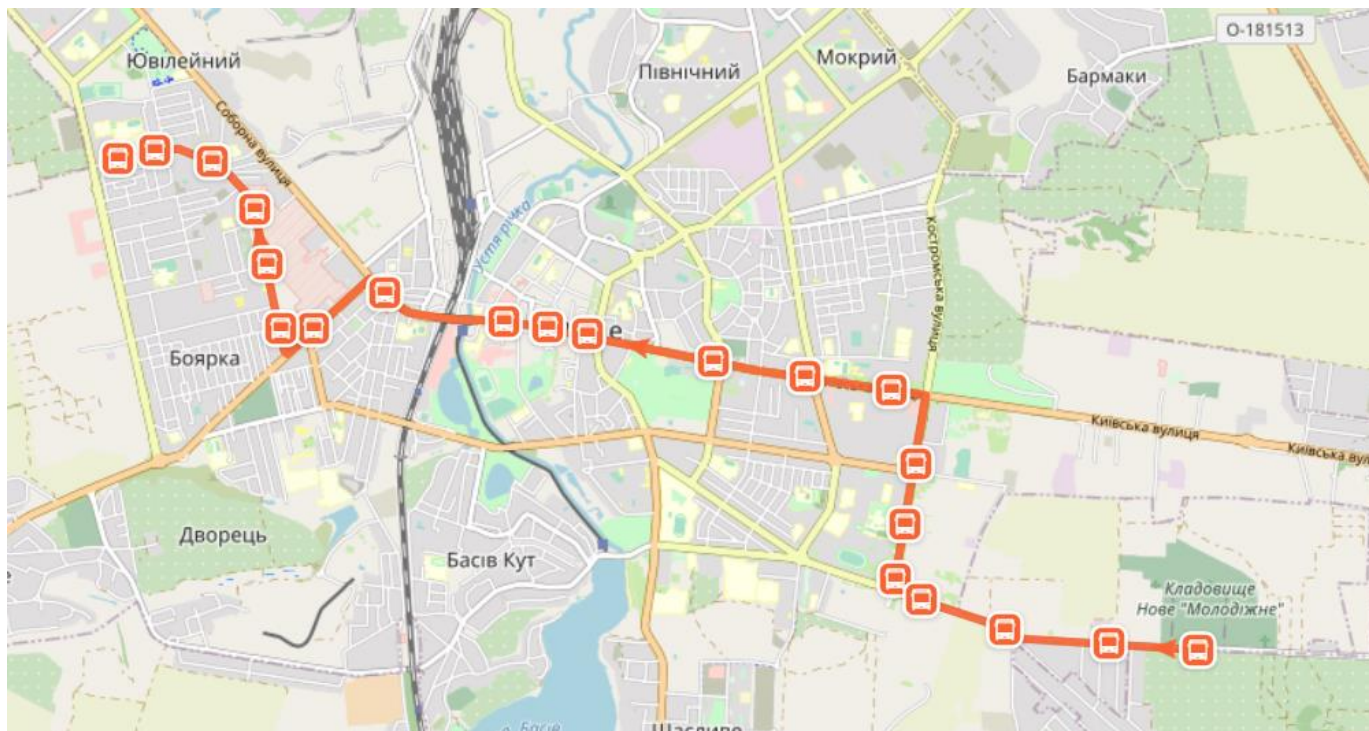


Рис. 2.3. Тролейбусний маршрут №11 сполученням «Вулиця Енергетиків – Вулиця Вербова» (

Основні технічні характеристики маршруту представлені нижче. У прямому напрямку рейс має довжину 11,77 км та 21 зупинку, що є середньою характеристикою для автобусних маршрутів та дає змогу порівняти ефективність різних транспортних засобів. Середня швидкість руху транспорту становить 12,6-17,8 км/год, що сприяє використанню гібридних та електричних автобусів для перевезень завдяки ефективному використанню енергії на накопичувачах, а також вказує на невігідність використання

автобусів з двигунами внутрішнього згоряння з високим рівнем паливного споживання.

Тролейбус за день робить $N=14$ рейсів із протяжністю транспортної мережі в $L=11,77$ км, тоді транспортна робота $Tr.д$ автобуса за день буде складати

$$Tr.д = N \cdot L = 14 \cdot 11,77 = 164,8 \text{ км} \quad (2.7)$$

Пробіг протягом року $Tr.р$ становитиме

$$Tr.р = \left(\sum_{i=1}^{12} Tr.д \cdot n_m \right) = 164,8 * 31 + 164,8 * 28 + \\ + \dots + 164,8 * 31 = 60152 \text{ км} \quad (2.8)$$

Отже, за день розрахунковий транспортний засіб проходить близько 165 км, що у кінці року складатиме сумарний пробіг 60152 км. Це типове значення для більшості міст середнього розміру, включаючи Рівне. Надамо вихідні дані для порівняння трьох видів громадського транспорту: тролейбуса, автобуса з двигуном внутрішнього згоряння та електричного автобуса в таблиці 2.4.

Техніко-експлуатаційна характеристика середньостатистичного маршруту за
видами громадського автобусу

Назва показника	Вид транспортного засобу		
	тролейбус	автобус	електричний автобус
Вартість транспорту, грн	6 000 000	4 000 000	9 000 000
Загальна кількість пасажирів, чол.	100	100	100
Місць для сидіння пасажирів, шт.	23	30	33
Ємкість бака або накопичувача енергії	100	100	276
Довжина маршруту, км	12	12	12
Максимальна дальність пробігу, км	-	313	307
Кількість рейсів	14	14	14
Вартість проїзду, грн.	8	8	8
Рівень заповнення маршруту, %	72	72	72
Кількість пасажирів на маршруті, чол.	72	72	72
Тариф, грн/км	0,67	0,67	0,67
Прибуток в день, грн	8064	8064	8064

Отже, якщо порівнювати тролейбус, звичайний автобус та електричний автобус за їхніми експлуатаційними показниками на середньому маршруті з урахуванням вартості проїзду у 8 гривень, то всі транспортні засоби забезпечують перевізнику однаковий дохід в розмірі 8064 грн на день.

Відповідно до розробленої «Методики розрахунку тарифів на послуги пасажирського автомобільного транспорту» (2009) та інших нормативних документів, витрати транспортного процесу перевезення пасажирів громадським транспортом обліковуються з урахуванням галузевих нормативів використання паливо-енергетичних ресурсів, прогнозованого річного індексу зростання цін на надання послуг та виконання робіт, величини податкових зборів від виробничої діяльності тощо (див. рис. 2.4) [6-13].

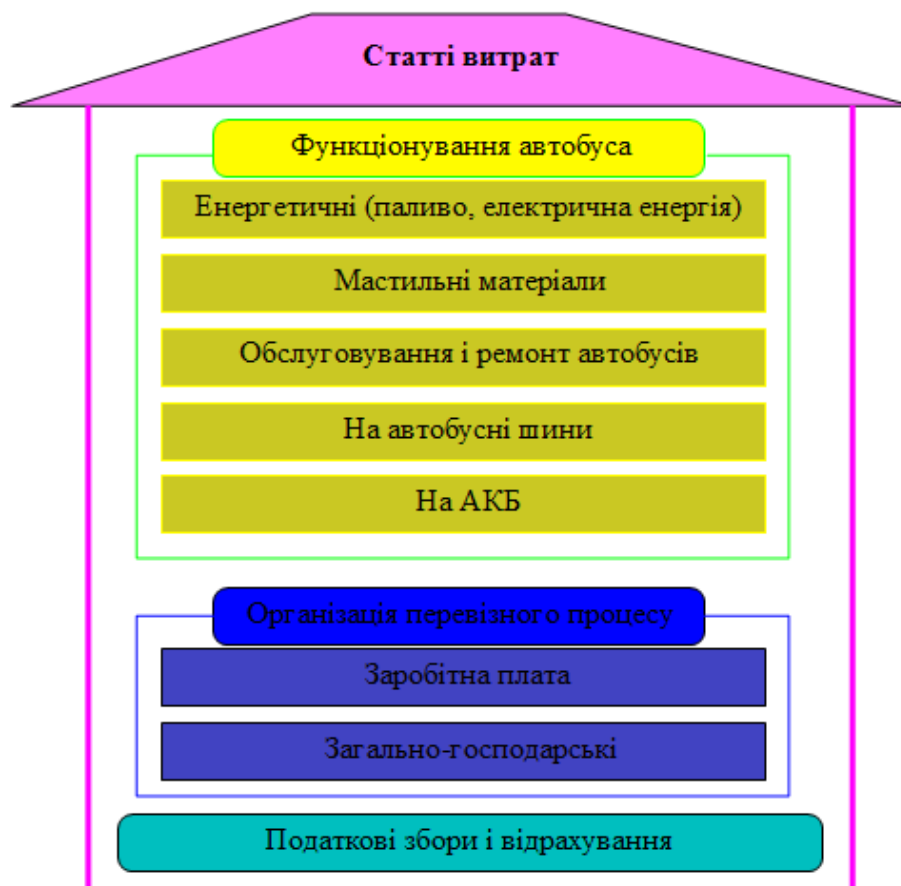


Рис. 2.2. Статті розрахункових витрат для вартісної оцінки організації перевезень пасажирів

Вихідні дані для обрахунку основних показників економічної ефективності перевізного процесу представлено у табл. 2.5, розрахункові формули за статтями витрат представлено у додатку 1.

Таблиця 2.5

Основні вихідні дані для розрахунку економічної ефективності за рахунок заміни автобусів на електричний транспорт

Назва показника	Одиниця вимірювання	Значення показника
Кількість календарних днів у році	-	365
Кількість відпрацьованих робочих днів у році водієм	-	242
Заробітна плата водія	грн/міс.	12000
Середній час водія в наряді	год.	8
Заробітна плата інших працівників	грн/міс.	9000
Вартість дизельного палива	грн/л	32
Вартість спожитої енергії автобусом	грн/кВт	6,50
Витрати на обслуговування контактної мережі	грн/день	200
Вартість моторного масла (оливи)	грн/л	300
Вартість мастила для мащення вузлів	грн/кг	200
Надбавка до норми витрати палива в зимовий період	%	10
Коефіцієнт урахування витрат на доставку й придбання палива	-	1,04
Норма загальновиробничих витрат	%	4
Адміністративні витрати	грн/день	200
Норматив нарахувань на заробітну плату	%	38
Ставка податку на додану вартість	%	20
Ставка податку на прибуток	%	30
Амортизаційні відрахування	%	25

Тролейбус в середньому зо одну годину роботи з врахуванням втрат в мережі витрачає електроенергії $N_e = 3$ кВт/км пробігу тоді з розрахунку на денний пробіг витрата $N_{e.m}$ буде складати

$$N_{e.m} = \text{Тр. д.} \cdot N_e = 164,8 * 3 = 494,4 \text{ кВт} \quad (2.9)$$

Або у вартісному вигляді $V_{N_{e.m}}$

$$V_{N_{e.m}} = N_{e.m} \cdot C_e = 494,4 * 2,7 = 1335,9 \text{ грн} \quad (2.10)$$

де C_e – ціна електричної енергії, грн/кВт.

Електричний автобус в середньому зо одну годину роботи споживає електроенергії $N_{e.e} = 0,9$ кВт/км пробігу тоді з розрахунку на денний пробіг витрата $N_{e.m.e}$ буде складати

$$N_{e.m.e} = \text{Тр. д.} \cdot N_{e.e} = 164,8 * 0,9 = 148,3 \text{ кВт} \quad (2.11)$$

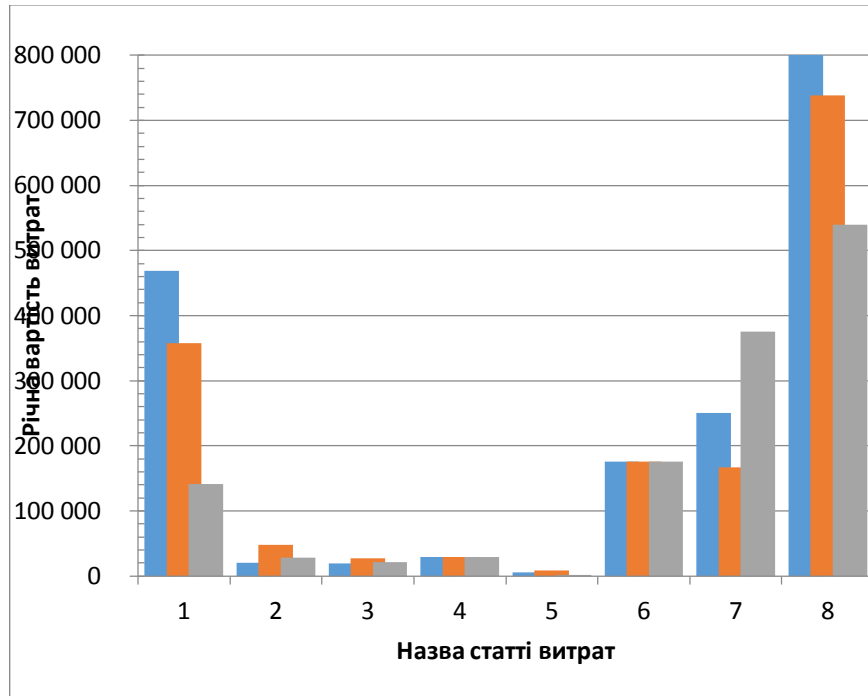
Або у вартісному вигляді $V_{N_{e.m.e}}$ для електричного автобуса

$$V_{N_{e.m.e}} = N_{e.m.e} \cdot C_{e.n} = 148,3 * 1,35 = 200,2 \text{ грн} \quad (2.12)$$

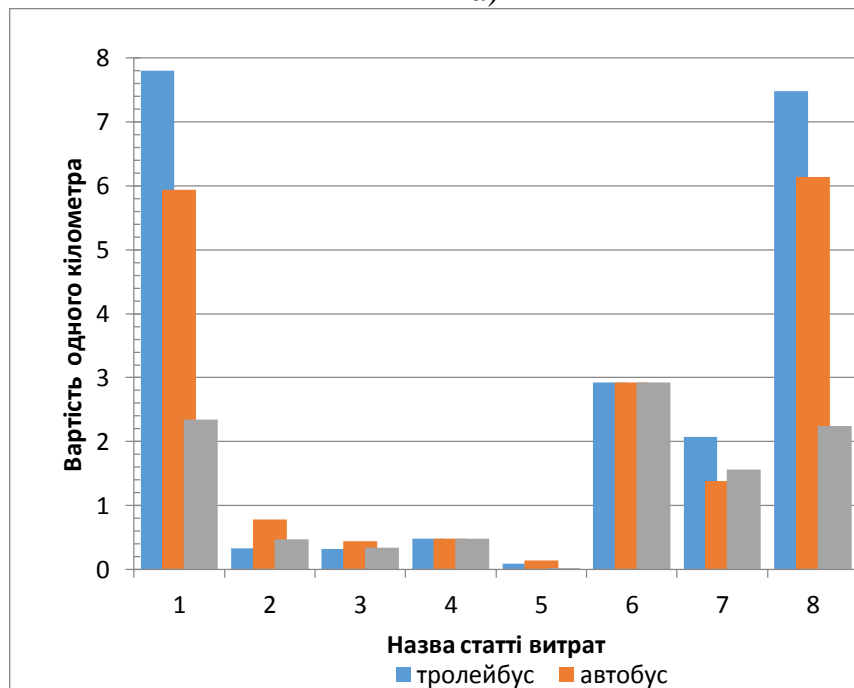
Ми припускаємо, що електричний автобус заряджається лише вночі після закінчення маршруту та повернення на стоянку (на підприємство). В цьому випадку вартість нічного тарифу становить половину вартості денного тарифу, тобто

$$C_{e.n} = \frac{C_e}{2} = \frac{2,7}{2} = 1,35 \text{ грн/кВт.}$$

Представимо результати розрахунку всіх статей витрат перевізного процесу, які були здійснені для сумарного річного пробігу транспортних засобів, а також розрахунку витрат на один кілометр, що показані на рисунку 2.3.



а)



б)

Рис. 2.3. Статті витрат у вартісному вигляді для громадського транспорту за їх видами: а) загальна та б) на один кілометр

На рисунку 2.3 представлено статті витрат на різні складові: 1 - паливо; 2 - масла; 3 - технічне обслуговування; 4 - шини; 5 - джерело енергії (аккумуляторна батарея); 6 - заробітна плата водіїв; 7 та 8 - амортизаційні та загальновиробничі відрахування.

Також відображена економія електричної енергії, яку можна отримати при застосуванні електричного автобуса.

$$E_e = V_{Ne.m} - V_{Ne.m.e} = 1335,9 - 200,2 = 1135,7 \text{ грн} \quad (2.13)$$

Всі параметри свідчать про те, що електричний автобус є більш вигідним з точки зору прибутковості, і у порівнянні з тролейбусом, забезпечує додаткову економію в розмірі 4448 грн на день (прибуток для перевізника) (рис. 2.4).

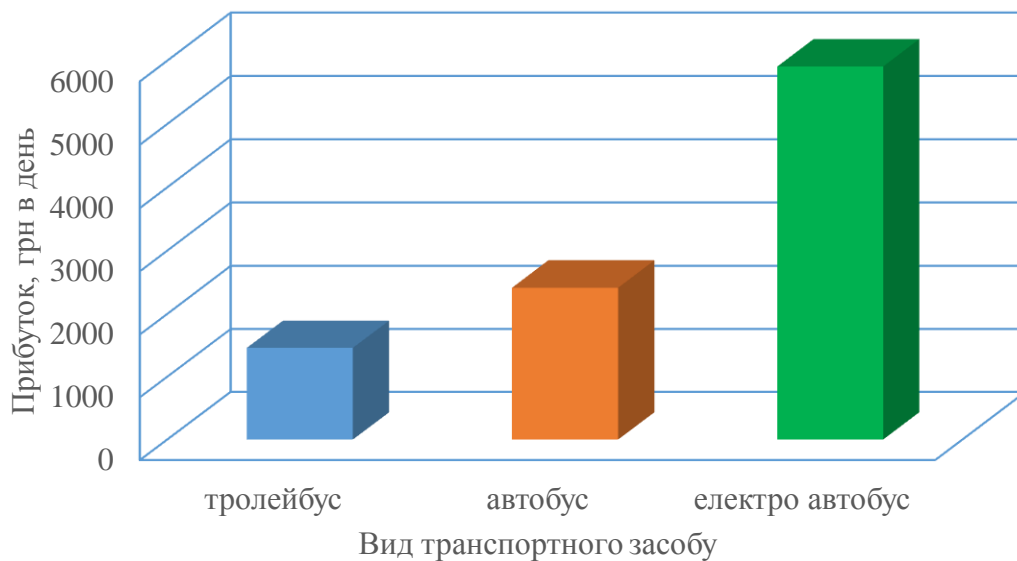


Рис. 2.4. Денний прибуток видів транспорту: тролейбус, класичний автобус, електричний автобус

Нижче наведено річну економію, яку можна отримати від використання електричного автобуса:

- 1) Якщо замінити тролейбус на електричний автобус, то економія складе 1 601 280 грн.
- 2) Якщо замінити класичний автобус на електричний автобус, то економія складе 1 257 840 грн.

РОЗДІЛ 3. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

3.1. Міжгалузеві і галузеві акти та інші нормативно-правові документи з питань техніки безпеки і охорони праці в міському електротранспорті

Управління технікою безпеки та охороною праці базується на Законі України “Про охорону праці”. В цьому документі наведена структура управління охороною праці, основні положення державної концепції про охорону праці на підприємствах міського господарства України.

Проектування, будівництво і ремонт, введення в дію та експлуатація міського електротранспорту здійснюються в суворій відповідності з діючими нормами, правилами і стандартами: БН і П III – 4 – 80. “Техніка безпеки в будівництві”, ”Правила техніки безпеки на міському електротранспорті”, які охоплюють такі питання: Розділ 1. “Трамвайні вагони, тролейбуси, депо і ремонтні майстерні”, Розділ 2. “Шляхове господарство трамвая”, Розділ 3. “Контактні мережі”, Розділ 4. “Організація руху трамвая і тролейбуса”.

Вводячи в експлуатацію побудовані спорудження міського електротранспорту, керуються “Правилами застосування і випробування засобів захисту, які використовуються в електроустановках” і “Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів”. Останні два документи встановлюють загальні вимоги безпеки щодо організації охорони праці під час експлуатації електроустановок міського електротранспорту, їх безпечного розміщення, і порядку використання.

Головним документом, що визначає вимоги охорони праці при заземленій до рейки шляху, є ДСТ 12.1.013 – 78. Заземлення випробовують і перевіряють приладами, їх опір повинен відповідати вимогам ДСТ 12.1.030 – 81.

Вентиляція виробничих цехів з ремонту устаткування міського електротранспорту повинна забезпечувати додержання норм гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин у повітрі робочої зони відповідно до ДСТ 12.1.005 – 76.

У майстернях проводяться природне та штучне освітлення з урахуванням особливостей роботи в окремих цехах відповідно до БН і П II – 4 – 79.

Бетонні роботи повинні проводитись відповідно до БН і П III – 4 – 80.

3.2. Загальні вимоги охорони та безпеки праці під час ремонту рухомого складу на лінії

До ремонту з рухомого складу на лінії допускаються особи, які ознайомлені з усіма видами устаткування вагонів (тролейбусів) і ремонтними роботами, що знають технічні вимоги до рухомого складу під час випуску з депо і роботи на лінії, а також вимоги безпеки під час виконання лінійних робіт.

Кожний лінійний слюсар повинен забезпечуватися комплектом необхідного інструменту: пристроями для лінійного ремонту; запасними частинами, деталями і матеріалами, необхідними для лінійного ремонту, спецодягом і спецвзуттям; захисними окулярами, діелектричними рукавичками, калошами і килимком.

Перелік інструментів, захисних засобів, запасних деталей і матеріалів, необхідних для забезпечення безпечного і якісного ремонту, затверджується головним інженером трамвайно-тролейбусного управління.

Діелектричні рукавички і калоші повинні бути сухими і чистими. Для роботи під вагоном або троллейбусами слюсар повинен мати спеціальні настилими, і килими.

У пунктах ремонту вагонів (тролейбусів) на лінії влаштовуються запасні шляхи (відводяться ремонтні місця), розташовані на горизонтальних ділянках або схилах, які не перевищують 0,0025 поза шляхів і слуг руху транспорту. На експлуатаційних шляхах (смугах) допускається виконання лінійними слюсарями тільки тих робіт, які не пов'язані з перебуванням під вагоном (тролейбусом).

Лінійний ремонт трамвайних вагонів (тролейбусів) допускається при додержанні таких заходів безпеки;

- водій повинен установити вагон для ремонту на запасну колію, а троллейбус – на відведене для його ремонту місце і здати лінійному слюсарю книгу поїзда;

- водій повинен сидіти з боку, транспорту який наближається і спостерігати за транспортом, що проходить, недопустиме його наближення до вагона (тролейбуса) який ремонтується, за відсутності водія роботи під вагоном (тролейбусом) забороняються;

- токоприймачі вагона або троллейбуса повинні бути зняті з контактних проводів і надійно зафіксовані;

- вагон (тролейбус) повинен бути загальмований ручним (стояночним) гальмом; а під колеса вагона або троллейбуса підкладені гальмівні колодки;

- реверсна рукоятка контролера управління переводиться в положення “стоп” і під час ремонту передається водієм лінійному слюсарю, який проводиться ремонт.

Не допускається ремонт у середині кузова вагона (тролейбуса), якщо там є пасажир.

Закінчуючи ремонт, лінійний слюсар робить в книгу поїзда відмітку про проведення ремонту, час його початку і закінчення та передає книгу водію.

Зміну акумуляторної батареї на вагоні (тролейбусі) лінійний слюсар проводить за допомогою водія або іншої особи. Переносити або піднімати акумуляторну батарею однією особою забороняється.

Лінійний ремонт вагонів трамвая. Перед початком роботи слюсар зобов'язаний виставити на видне місце коло контролера управління плакат “Не включати, працюють люди !”

На вагонах, що мають колонку ручного гальма, загальмувавши вагон, необхідно закласти штирв. Відпускаючи рукоятку гальма, не слід є стояти близько до маховика, щоб уникнути удару його рукояткою.

Необхідні маневри під час зчеплення і розчеплення вагонів на лінії повинні здійснюватися за розпорядження однієї особи. Зчіплювати і розчіплювати вагони на лінії повинен водій вагона, якого буксирують, або лінійний ревізор.

Усі робітники, що зчіпляють вагони і пов'язані з цієї роботою, повинні добре знати конструкції зчеплених приладів і інструкцію щодо зчеплення.

Перебувати між вагонами при підготовці поїзда до пересування категорично забороняється.

Подавання моторного вагона (вперед або назад) до зчіплюваного, що загальмований (стояночним) гальмом, вагона робиться тільки водієм за знаком робітника вироблюється зчеплення.

Категорично забороняється виконувати зчеплення при не справному контролі управління, а також використовувати під час зчеплення пневматичне гальмо.

Під час зчеплення вагон, який причеплюється, повинен бути загальмований ручним (стояночним) гальмом вагон, який буде вбуксирувати, повинен подаватися водієм до причіпного вагона поштовхуванням (на першому положенні рукоятки контролера) за сигналом зчіплювача; під час зчеплювання водій повинен користуватися ручним гальмом (крім вагонів, у яких конструкцією не передбачено ручне гальмування). Зчеплення вагонів допускається тільки зчіпними приладами встановленого типу.

Під час перевірки ізоляції електроустановки вагона притуляється голими руками до металевих частин апарата або агрегата, який випробовується категорично забороняється.

Роботи між вагонами (зміна і ставлення міжвагонних повітряних рукавів, вибивання зчеплених штирем тощо) виконуються лінійним слюсарем у присутності водія поїзда, який ремонтується, ручним гальмом, причому водій повинен загальмувати поїзд ручним гальмом або підкласти під колеса вагонів гальмівну колодку, включити автоматичний вимикач.

Забороняється випробовувати несправний контролер управління підключенням його до мережі. Перевірка контролера під напругою мережі допускається тільки після виявлення його несправності і її усунення.

Вмикати контролер під напругою при знятих дугогасильних камерах і знятому кожуху контролера забороняється.

Слюсар, закінчивши ремонт вагона, повинен переконатися, що рукоятка контролера управління знаходиться в положенні “стоп”, оглядов люки в підлозі вагона закриті.

Після цього реверсійну рукоятку контролера слюсар передає особисто водію, чим завершується передача відремонтованого вагона.

На запасні шляхи для лінійного ремонту можуть установлюватися одночасно два поїзди (вагониза додержання таких умов:

- відстань між поїздами, які стоять повинна становити не менше 3м;
- їх ремонт здійснює (однією і тією ж особою) в порядку черги, так що ремонт другого поїзда ремонтується після ремонту першого;
- другий поїзд не допускають до установлення на одну путь, коли під вагоном першого поїзда перебуває лінійний слюсар.

Лінійний ремонт на тролейбусах. Ремонт тролейбуса може бути розпочатий лише після того як на штурвалі і задньому борті з зовні (на дробині) вивішені плакати “Не включати, працюють люди !”

Ремонтований на лінії тролейбус повинен бути обгороджений знаком аварійної зупинки відповідно до Правил дорожнього руху.

Постановка на ремонт на тій же ділянці другого тролейбуса допустима тільки при додержанні відстані між тролейбусами не менше 3 м за умови, що під раніше поставленим на ремонт тролейбусі лінійний слюсар не виконує роботу.

Пересування тролейбуса на ділянці під час ремонту робиться водієм. Лінійному слюсарю забороняється самостійно пересувати тролейбус.

Не закінчивши ремонт на першому тролейбусі, лінійний слюсар не повинен приступати до ремонту другого.

Зміна коліс на тролейбусі лінійним слюсарем повинна робитись з точним додержанням правил безпеки під час піднімання тролейбуса ручними домкратами. Погрузка коліс на автомашину ведеться двома особами з застосуванням механізмів.

Лінійний ремонт на тролейбусі або під ним в темний час доби повинен виконуватися обов'язково при хорошому освітленні робочого місця пересувними лампами.

Живлення ручних пересувних ламп повинно допускатися тільки від низьковольтної мережі тролейбуса. Перевірка опору ізоляції тролейбуса допускається тільки мегомметром.

При току витікання більше 3 мА і неможливості усунення причин витікання тролейбус відправляється в депо (без пасажирів).

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Кожен міський автобус – це своєрідна візитна картка міста, яка допомагає забезпечити зв'язок між міськими районами, передмістями та підтримувати соціальний контакт. В наші дні електричний транспорт, такий як трамваї, тролейбуси та метро, є все більш популярним. Такі системи електромобільності залишаються основою багатьох міських транспортних мереж в Україні.

2. Незважаючи на те, що конструкція двигунів внутрішнього згорання для транспортних засобів значно поліпилася і зосереджена на зниженні витрат палива та покращенні екологічності, на світовому рівні зростає активність приватного автотранспорту, що неймовірним чином знижує позитивний вплив на соціально-екологічний та економічний розвиток міста з нульовим викидом. Отже, найкращим рішенням буде сприяння розробці нових транспортних засобів, які будуть працювати на альтернативних джерелах палива, таких як електрика або водень.

3. Для забезпечення ефективного перевезення пасажирів по місту Рівне, електричний транспорт повинен мати двигун потужністю не менше 100 кВт та батарею з потужністю не менше 150 кВт·год. При збільшенні вартості електричної енергії при постійній ціні на дизельне паливо, вартість експлуатації електричного автобусу становитиме від 0,65 до 1,25 грн за 1 кВт·год. Менші значення відповідають електричним автобусам ємністю на 120 кВт та з пасажиромісткістю 40 осіб. Електричні автобуси ємністю 80-100 пасажирів будуть коштувати більше, а саме наблизяться до цінової позначки в 1,25 грн за 1 кВт·год.

4. Наведено річну економію, яку можна отримати від використання електричного автобуса:

- якщо замінити тролейбус на електричний автобус, то економія складе 1 601 280 грн;

- якщо замінити класичний автобус на електричний автобус, то економія складе 1 257 840 грн.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Todd Litman. Evaluating Public Transit Benefits and Costs: Best Practices Guidebook. 2021. P. 141.
2. Lucien Mathieu. Marketplace, economic, technology, environmental and policy perspectives for fully electric buses in the EU. Published by Transport & Environment, 2018. Pp. 35.
3. S. Milja, S. Milan, P. Pavle, P. Zoran. Alternative fuels for public transport vehicles – actual trends. *Trans & Motauto World*. Vol. 5 (2020), Issue 3, pg(s) 105-107.
4. Чолпан П.П. Фізика. Київ : Вища школа, 2003. 568 с.
5. Гнатов А. В., Аргун Щ. В., Бикова О. В., Підгора О.В. Електробус на суперконденсаторах для міських перевезень. *Вісник ХНАДУ*. Харків : ХНАДУ, Вип. 72. 2016. С. 29-34.
6. В.В. Аулін, М.Є. Кристопчук, О.П. Цьонь, М.Я. Сташків, М.В. Бабій, Ю.Д. Бодоряк / Глобальна криза від пандемії Covid-19 та її вплив на мобільність населення // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки, 2021, вип. 4(35). С. 247-253.
7. Вакуленко К. Є. Вибір автотранспортного засобу на маршрутах міського пасажирського транспорту : Дис... канд. наук: 05.22.01 - 2009.
8. Голуб Д.В., Гриньків А.В., Маркушин А.О., Цьонь О.П., Гирила М.С. Урахування екологічного фактору при оптимізації на маршрутах транспортної мережі. Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту : Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., 17-19 листоп.2022 р., м. Кропивницький : зб. матер. / М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. експлуатації та рем. машин. –Кропивницький : ЦНТУ, 2022. – с. 288-209.
9. Доля В. К. Пасажирські перевезення : підручник / В.К. Доля. – Харків: Видавництво «Форт», 2011. – 504 с.

10. Кристопчук, М.Є. Ефективність пасажирської транспортної системи приміського сполучення [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / М.Є. Кристопчук. – Харків: ХНАМГ, 2009. – 214 с

11. 12. М.В. Януш, П.В. Попович, О.П. Цьонь Методи дослідження пасажиропотоків: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 25–26 листоп. 2015.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ТНТУ, 2015. – 254с.

12. Методичні вказівки для виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для студентів освітньо-професійної програми "Транспортні технології (на автомобільному транспорті)" першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 275 – Транспортні технології (на автомобільному транспорті) / уклад.: О.Л. Ляшук, Ю.Я. Вовк, В.О. Дзюра, О.П. Цьонь, І.М. Кучвара, М.В. Бабій, А.Й. Матвійшин, Н.Б. Гаврон; М-во освіти і науки України, ТНТУ. – Тернопіль: ТНТУ, 2021. – 52 с.

13. О.П. Цьонь, О.Л. Ляшук, О.Б. Романюк. Мобільність населення в умовах пандемії / Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції присвяченої пам'яті професора Гевка Богдана Матвійовича „Проблеми теорії проектування та виготовлення транспортно-технологічних машин “. Тернопіль, 2021. с. 96.

ДОДАТОК 1

Статті витрат на організацію транспортного процесу перевезень пасажирів

Стаття витрат <i>B</i>	формула розрахунку показників на 1км пробігу, грн/км (Методика 2009)	Показники (Методика 2009)
Витрати на паливо	$B_{n1км} = B'_n \cdot \Pi_n = 0,01 \cdot H_n \cdot (1 + 0,01 \cdot K_s) \cdot \Pi_n$	B'_n – загальні нормативні витрати палива на 1 км пробігу за конкретних умов експлуатації, л (м ³)/км; H_n – базова лінійна норма витрат палива для конкретної марки автомобільного транспортного засобу, л/100 км (м ³ /100 км); K_s – сумарний коригуючий коефіцієнт базової лінійної норми, яким враховуються конкретні умови експлуатації; Π_n – прогнозована ціна палива, грн/л (грн/м ³).
Витрати на мастильні матеріали	$B_{m1км} = 0,01 \cdot B'_n \cdot (N_m \cdot \Pi_m + N_{mp} \cdot \Pi_{mp} + N_{nl} \cdot \Pi_{nl} + N_c \cdot \Pi_c)$	де: N_m, N_{mp}, N_{nl}, N_c – норми витрат відповідно моторних, трансмісійних, спеціальних олів (л/100 л палива) та пластичних мастил (кг/100 л палива); $\Pi_m, \Pi_{mp}, \Pi_{nl}, \Pi_c$ – прогнозована ціна відповідно моторних, трансмісійних, спеціальних олів (грн/л) та пластичних мастил (грн/кг).
Витрати на обслуговування і ремонт	$B_{ТОіПР1км} = \frac{1}{L} [N_{щО} \cdot H_{мщО} + N_{ТО-1} \cdot H_{мТО-1} + N_{ТО-2} \cdot H_{мТО-2} + \frac{L(H_{mp} + H_{зчр})}{1000}]$	де: $N_{щО}, N_{ТО-1}, N_{ТО-2}$ – кількість ЩО, ТО-1, ТО-2 за пробіг L автомобільного транспортного засобу, од.; $H_{мщО}, H_{мТО-1}, H_{мТО-2}$ – норми витрат матеріалів на одне обслуговування, грн; $H_{mp}, H_{зчр}$ – норми витрат відповідно матеріалів і запасних частин на ремонт на 1000 км пробігу, грн/1000 км.
Витрати на автомобільні шини	$B_{ш1км} = \frac{\Pi_{ш} \cdot K_{ш}}{H_{ш} \cdot K_{к}}$	де: $\Pi_{ш}$ – прогнозована ціна автомобільної шини, грн; $K_{ш}$ – кількість шин, встановлених на одному автомобільному транспортному засобі, од.; $H_{ш}$ – експлуатаційна норма середнього ресурсу шин, км, $K_{к}$ – коефіцієнт коригування, який враховує умови експлуатації
Витрати на АКБ	$B_{аб1км} = \frac{\Pi_{аб} \cdot K_{аб}}{H_{аб} \cdot K_{к} \cdot I}$	де: $\Pi_{аб}$ – прогнозована ціна АКБ, грн; $K_{аб}$ – кількість АКБ, встановлених на одному транспортному засобі, од.; $H_{аб}$ – експлуатаційна норма середнього ресурсу АКБ, місяців; $K_{к}$ – коефіцієнт коригування, який

		враховує умови експлуатації; I – фактична інтенсивність експлуатації транспортного засобу, км/місяць
Витрати на заробітну плату	$B_{\text{зар1км}} = (H_{\text{зн}} \cdot D_{\text{т1км}} + N_{\text{н1км}} \cdot m_{\text{т1км}} + (1 + H_{\text{заг}}/100))$	Нзп – норматив заробітної плати; $D_{\text{т1км}}$ – дохід; $N_{\text{н1км}}$ – кількість водіїв на маршруті $m_{\text{т1км}}$ – середній оклад
Загально-господарські витрати	$B_{\text{заг1км}} = (B_{\text{н1км}} + B_{\text{м1км}} + B_{\text{ТОіПП1км}} + B_{\text{ш1км}} + B_{\text{аб1км}} + B_{\text{зар1км}}) \cdot H_{\text{заг}}/100$	Враховує всі види витрат з врахуванням пробігу транспортного засобу Нзаг